

# **COBERTURA VEGETAL URBANA: ESTUDO DE CASO DE MAPEAMENTO ORIENTADO PARA O PLANEJAMENTO URBANO NO DISTRITO DA REPÚBLICA, SÃO PAULO – SP UTILIZANDO DEEP LEARNING**

Milena Pires de Sousa <sup>1</sup>  
Fernando Shinji Kawakubo <sup>2</sup>

## **INTRODUÇÃO**

O monitoramento ambiental no contexto urbano é um grande desafio que requer informações consistentes e atualizadas especificamente sobre as condições físicas e de vida em tais áreas. LUCHARI (2001) destaca que, nas áreas urbanas, a distribuição da vegetação reflete a qualidade ambiental e pode servir como um indicador da qualidade de vida da população residente.

A urbanização se realiza como um processo que coloca em contraponto os paradigmas da sociedade e da natureza, uma vez que a construção de feições morfologicamente urbanas estão relacionadas a formas artificiais como edificações, concreto, solos impermeáveis, poluição e a canalização de córregos, frequentemente resultando na ausência de elementos naturais. Embora a cobertura vegetal contraponha esses aspectos da urbanização, ela ainda está presente nas áreas urbanas, muitas vezes vista apenas como um recurso estético, apesar de desempenhar importantes funções ecossistêmicas e existir de forma diversa.

Espaços verdes urbanos tem se tornado um tema bastante estudado devido a grande relevância, uma vez que o assunto mudanças ambientais tem aparecido nos debates globais e locais. Na literatura foram encontradas diversas tipologias para classificação das feições verdes dentro do espaço urbano, que variam de acordo com a escala da área de estudo: Jim (1989) utiliza-se de critérios geométricos para os tipos de configuração da cobertura vegetal se baseando na cobertura do dossel. Propõe assim a classificação em tais categorias: Isoladas, podendo ser: dispersa, agrupada, ou Clumped.; Linear, podendo ser: Retilínea, Curvilínea ou Anelar.; Conectadas, podendo

---

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física pela Universidade de São Paulo - SP, [milenasousa@usp.br](mailto:milenasousa@usp.br);

<sup>2</sup> Professor Orientador: Prof. Dr. Universidade de São Paulo - SP, [fsk@usp.br](mailto:fsk@usp.br);

ser: Reticulada, Ramificada ou Contínua; GUPTA, et al. (2012), estudam um modelo de índice verde de bairro urbano, onde utilizam vários parâmetros e escalas para medir a qualidade do verde, onde chegam a 4 classes, sendo elas: Baixa qualidade verde, Qualidade verde moderada, Alta qualidade verde e Qualidade verde muito alta; IM (2019) refletem sobre as ruas verdes baseadas nas formas, propõe assim, 3 grandes classes: intersecção, bloco intermediário e combinação, cada classe apresenta uma subclasse.

O deep learning, uma subárea do aprendizado de máquina, demonstrou ser uma ferramenta poderosa para realizar tarefas como a segmentação de imagens de maneira eficaz e precisa, possibilitando o trabalho em grandes escalas. O destaque do deep learning na segmentação de imagens por sensoriamento remoto reside na sua capacidade de lidar com a complexidade das imagens e extrair automaticamente características relevantes. À medida que os modelos de deep learning evoluem, sua contribuição para a precisão e eficiência da segmentação se torna cada vez mais essencial nas aplicações diversas de monitoramento e análise de dados de sensoriamento remoto.

Para os objetivos desta pesquisa, foi selecionado o distrito da República, uma área de ocupação antiga que acompanha a história da cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo, que está localizada na região sudeste do Brasil e possui 96 distritos administrativos, com grandes disparidades em infraestrutura em sua área de 1.521,202 km<sup>2</sup>. Segundo o censo de 2022 do IBGE, a cidade abriga 11.451.245 habitantes, sendo uma das 10 cidades mais populosas do mundo.

A pesquisa focou na análise dos dados obtidos utilizando técnicas de Deep Learning (DL) para o mapeamento da cobertura vegetal com imagens de alta resolução para o distrito da República em São Paulo-SP. O estudo propôs uma classificação da cobertura vegetal voltada para o planejamento urbano, baseada em uma revisão da literatura.

## **METODOLOGIA**

O seguinte trabalho contou 5 etapas, sendo elas as seguintes: 1) Revisão da Literatura, 2) Coleção de dados, 3) Implementação do modelo, 4) Pós-Processamento e 5) Análise dos dados obtidos.

A revisão da literatura, consistiu na leitura de artigos, manuais, livros e trabalhos publicados em anais de eventos que se relacionavam com o tema estudado, e visava obter uma proposta de tipologia para áreas urbanas e parâmetros para a obtenção da coleção de dados para a análise. Para proposta da tipologia, alguns trabalhos de campo foram realizados no dia 14/10/2023 e 22/10/2023 com o objetivo de reconhecimento e aprimoramento das questões estudadas na revisão bibliográfica.

A coleção de dados se deu pela importação de dados abertos disponíveis digitalmente no portal da Prefeitura de São Paulo, o GEOSAMPA, para criação de banco de dados georreferenciado para a análise. Os dados se tratam das ortofotos e de arquivos obtidos através de sensores LIDAR com voos realizados entre 31/05/2020 à 08/08/2020 na cidade de São Paulo – SP.

Através da Tipologia construída pela revisão bibliográfica são criadas amostras no programa QGIS 3.28.6 no formato SHP para serem treinadas no modelo de Deep Learning. As amostras são feitas para cada classe de acordo com sua ocorrência e o contexto na qual se encontram. Foram geradas 400 amostras de acordo com as classes em um arquivo SHP no software QGIS 3.28.6 em uma escala 1:800 com base na Ortofoto 2020.

Por meio das amostras foi gerado um arquivo raster, com valores de 0, 1, 2 e 3. A ortofoto e o raster com as amostras (chamado de máscara) foram recortados em patches de 128 x 128 para entrada no modelo, essa etapa foi feita no ambiente Rstudio. Obtendo assim, 1.150 patches com valores, os mesmos, foram divididos em 80% para treino, e 20% para teste, obtendo assim os valores de 230 patches para teste e 920 para treino.

Após essa etapa, através da máquina virtual pelo Microsoft Planetary, no ambiente Jupyter Notebook, na linguagem Python, foram inseridos os patches de treino no modelo U-net a partir das amostras, obtendo assim uma predição, e através do método IoU (Intersecção sobre a União) foi utilizado para realizar o cálculo da acurácia, de acordo com os patches que haviam sido separados para teste, obtendo-se assim uma acurácia de 90%.

Com o resultado da predição do modelo, o mesmo é transformado em um arquivo vetorial, e através da linguagem Python, é feito um Spatial Join com o arquivo

com dados obtidos por Lidar, para obtenção das feições que estão classificadas como construção, e foram identificadas na predição como pertencentes a algum tipo de tipologia da Cobertura Vegetal, consideradas aqui como Telhados Verdes, que são validadas visualmente.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Proposta de Tipologia de áreas verdes em ambiente urbano**

De acordo com a revisão da literatura e de trabalhos de campo realizados, propõe-se a seguinte tipologia para classificação da cobertura vegetal urbana orientado para o planejamento urbano:

#### **Árvores Isoladas**

Tipologia heterogênea com predomínio de indivíduos arbóreos de qualquer espécie, com identificação através da ocorrência e da contextualização. Não estão interligadas, nem próximas de outras árvores. O reconhecimento se deu pela copa das mesmas.

#### **Canteiros Verdes**

Tipologia que pode ser heterogênea ou homogênea, com predomínio de indivíduos arbóreos de qualquer espécie, com identificação através da ocorrência e da contextualização. Estão interligadas, se configuram pelo agrupamento de diversas árvores. O reconhecimento se deu pela copa das mesmas.

#### **Gramma**

Tipologia homogênea com predomínio de vegetação rasteira, com identificação através da ocorrência e da contextualização. O reconhecimento se deu pela extensão das mesmas. Geralmente se apresentam como uma área extensa.

#### **Telhados Verdes**

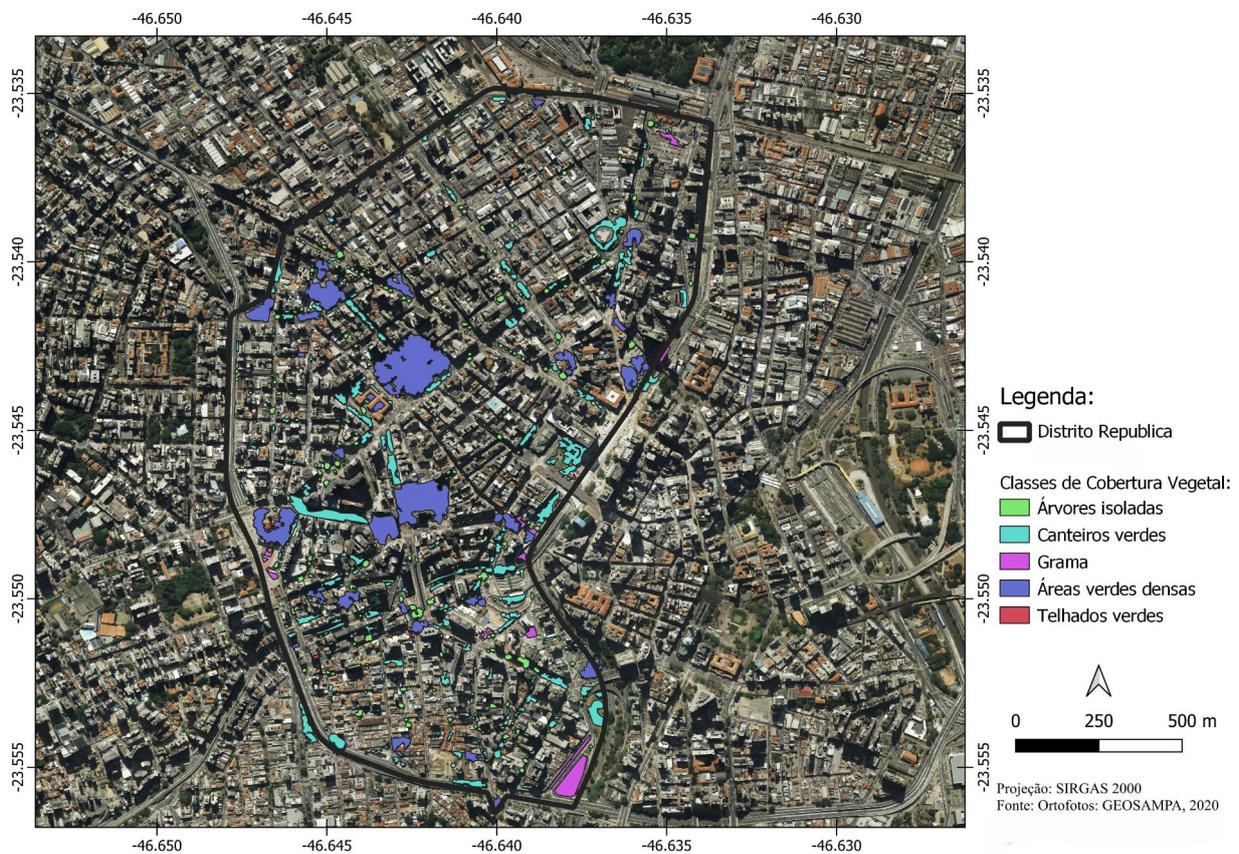
Tipologia heterogênea, podendo ser rasteira, arbustiva ou etc, com identificação através da ocorrência e da contextualização. O reconhecimento se deu pelo cruzamento de dados das ortofotos e dados lidar.

#### **Áreas Verdes Densas**

Tipologia heterogênea com predomínio de vegetação arbustiva, com identificação através da ocorrência e da contextualização. O reconhecimento se deu pela extensão das mesmas. Geralmente se apresentam como uma área com uma configuração em maior extensão e com formato morfológico diferente dos canteiros verdes, se caracterizam por um agrupamento de árvores.

### Mapeamento

Figura 1 – Mapa dos Resultados do Mapeamento da Cobertura Vegetal para o distrito de República, São Paulo – SP.



Fonte: Autores, 2024.

Foi obtido o seguinte resultado expresso no mapa, pela predição do modelo de Deep Learning e o pós-processamento dos dados. A classe Árvores isoladas, corresponde a 381 feições, com uma área em m<sup>2</sup> de 40.020,51 m<sup>2</sup>, sendo 1,7% do total da área de estudo. A classe Canteiros Verdes, corresponde a 187 feições, com uma área em m<sup>2</sup> de 91.518,23 m<sup>2</sup>, sendo 3,9% do total da área de estudo. A classe Grama, corresponde a 36 feições, com uma área em m<sup>2</sup> de 15.698,48 m<sup>2</sup>, sendo 0,6% do total da área de estudo. A classe Área Verde Densa, corresponde a 34 feições, com uma área de

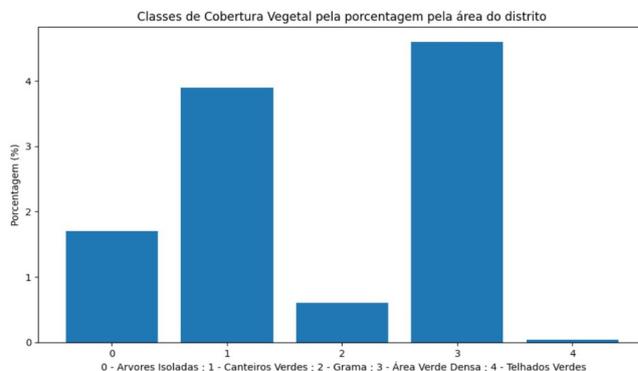
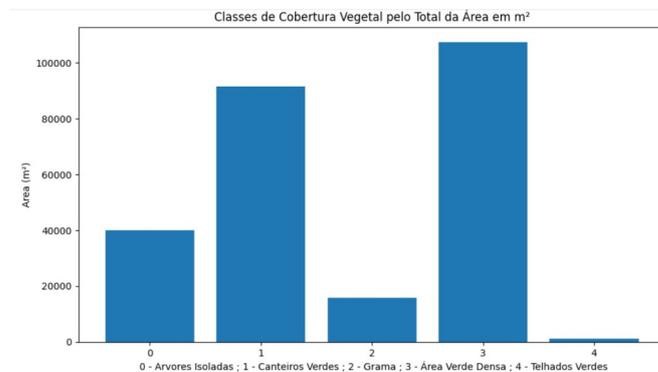
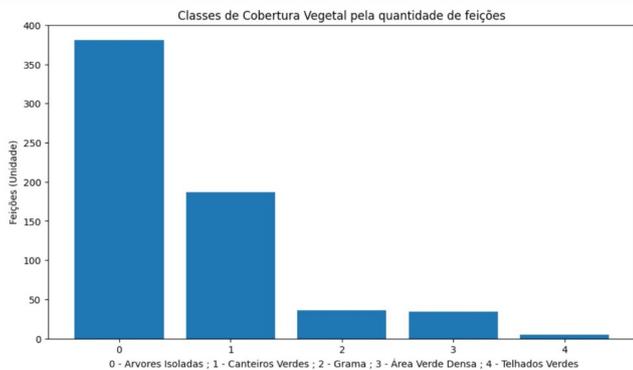
107.472,07 m<sup>2</sup>, sendo 4,6% do total da área de estudo. E a classe Telhados Verdes, corresponde a 5 feições, com uma área de 1.097,43 m<sup>2</sup>, sendo 0,04% do total da área de estudo. Tais resultados, seguem na tabela abaixo:

Tabela 41– Quantidade de feições por classe e m<sup>2</sup>.

Classes	Feições (Unidade)	Soma da área por classe (m <sup>2</sup> )	Porcentagem pela área do distrito (%)
Árvores isoladas	381	40.020,51	1,7
Canteiros verdes	187	91.518,23	3,9
Gramma	36	15.698,48	0,6
Área verde densa	34	107.472,07	4,6
Telhados Verdes	5	1.097,43	0,04

Fonte: Autores, 2024.

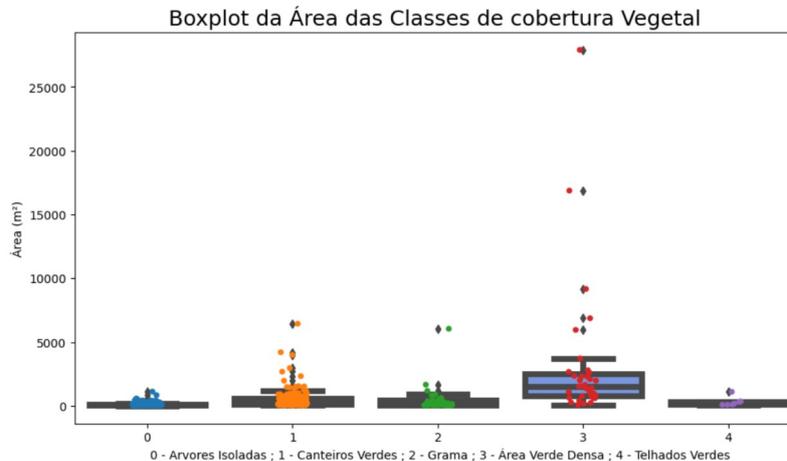
Figura 2 – Gráfico de barras sobre as Classes de Cobertura Vegetal e seu expresso valor em unidades, Área, e Porcentagem em relação a área de estudo.



Fonte: Autores, 2024

Podemos ainda olhar sobre a área das classes, a sua distribuição entre a mediana, 1º quartil, 3º quartil, limite inferior, limite superior e os outliers através do bloxplot.

Figura 3– Boxplot da Área das Classes de Cobertura Vegetal.



Fonte: Autores, 2024

Os outliers identificados na classe de Área verde densa, são respectivamente a Praça da República, Praça Dom José Gaspar e a Praça Roosevelt. Na classe de Canteiro verde, temos o canteiro da Avenida Consolação, e na classe Grama, temos uma grande área na 23 de maio. É interessante observar que os outliers descritos nas classes Área Verde densa e Canteiros Verdes tem uma localização muito próxima. Pode-se observar, inclusive por uma análise visual da localização da cobertura vegetal que existe uma concentração a partir do centro e ao sul da área de estudo, apesar de existir uma cobertura vegetal no norte da área de estudo, a mesma se encontra mais esparsa e com menos ocorrências. Das 644 feições identificadas no total do mapeamento, somando-se todas as classes, 464 estão nessa porção centro-sul e somente 181 na parte norte da área de estudo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A classificação proposta, utilizando o modelo U-net, apresentou bons resultados ao possibilitar o mapeamento de árvores isoladas, canteiros verdes, grama, áreas verdes densas e telhados verdes, considerando sua ocorrência e contexto. Essa abordagem se mostrou eficaz para estudos ambientais, capturando detalhes e distinguindo particularidades espaciais, revelando desigualdades locais. Os dados obtidos podem apoiar políticas públicas mais eficazes para a gestão ambiental urbana, promovendo sustentabilidade e equidade no acesso às áreas verdes.

**Palavras-chave:** Cobertura vegetal urbana; Planejamento Urbano; Deep Learning; Sensoriamento Remoto; Mapeamento;

## **AGRADECIMENTOS**

À CAPES, pelo auxílio parcial para participação do evento. O presente trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## **REFERÊNCIAS**

IBGE, Panorama. Disponível em:

<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>>

IM, Joowon. Green Streets to Serve Urban Sustainability: Benefits and Typology Sustainability 2019, 11, 6483; doi:10.3390/su11226483

GUPTA, Kshama, KUMAR, Pramod, Urban Neighborhood Green Index – A measure of green spaces in urban areas, Landscape and Urban Planning 105 (2012) 325–335

JIM, C.Y. "Tree-canopy characteristics and urban development in Hong Kong" The Geographical Review, v.79, n.2, American Geographical Society, Lawrence, pp. 210-255, 1989.

LUCHIARI, Ailton. Identificação da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. Revista do Departamento de Geografia, 14 (2001) 47-58.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, Geosampa. Disponível em:  
<[https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx#](https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx#)>

SHAHTAHMASSEBI, Amir Reza. LI, Chenl FAN. Yifan, WU. Yani, LIN, Yue a. GAN, Muye. WANG, Ke. MALIK, Arunima. BLACKBURN, George Alan. Remote sensing of urban green spaces: A review . Urban Forestry & Urban Greening 57 (2021).